

#4 12/27/00

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

JCS98 U.S. PTO
09/664723
09/19/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

1 9 9 9 年 9 月 2 0 日

出 願 番 号
Application Number:

平成 1 1 年特許願第 3 0 4 4 6 7 号

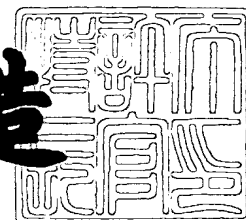
出 願 人
Applicant (s):

オリンパス光学工業株式会社

2 0 0 0 年 8 月 4 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特 2 0 0 0 - 3 0 6 1 3 7 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 99P01735

【提出日】 平成11年 9月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 21/20

【発明者】

 【住所又は居所】 千葉県流山市松ヶ丘 2 - 3 2 0 - 8 5

 【氏名】 谷田貝 豊彦

【発明者】

 【住所又は居所】 茨城県つくば市吾妻 4 - 1 - 2 0 9 - 2 1 1

 【氏名】 伊藤 雅英

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 の 4 3 の 2 オリンパス光学工業株式会社内

 【氏名】 石渡 裕

【特許出願人】

 【識別番号】 000000376

 【氏名又は名称】 オリンパス光学工業株式会社

 【代表者】 岸本 正壽

【代理人】

 【識別番号】 100065824

 【氏名又は名称】 篠原 泰司

【選任した代理人】

 【識別番号】 100104983

 【氏名又は名称】 藤中 雅之

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 017938

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1 通

【物件名】 図面 1 通

【物件名】 要約書 1 通

【包括委任状番号】 9105078

【書類名】 明細書

【発明の名称】 観察物体の物理量を検出するための装置およびこれを用いた検出方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光学系と、観察物体の像を形成するための結像光学系と、該光源からの光を 2 つの偏光成分に分離するための偏光部材を少なくとも一つ有する顕微鏡光学系と、

前記 2 つの偏光成分のリタデーション量を変化させる調整部材と、

観察物体の微分干渉像を撮像する撮像部材とを備え、リタデーション量が等しく符号が異なる前記観察物体の 2 つの微分干渉像を撮像する過程を備えた光学装置において、

該 2 つの微分干渉像の画像において夫々の対応する画素毎に差演算及び和演算を行い差画像情報及び和画像情報を取得する演算過程と、

前記リタデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を前記顕微鏡光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ 、前記和画像情報 $S(x, y)$ の平均値を α とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \alpha \} / \{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \alpha\}^2 / 2] \}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \alpha \} / \{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \alpha\}^2 / 2] \}]$$

【請求項 2】 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光路と、前記光源からの光を参照面に導く参照光路を有する干渉光学系と、

該干渉光学系によって形成された観察物体の干渉像を撮像する撮像部材とを備えた光学装置において、

前記観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ 、該画像情報 H

(x, y) を前記干渉光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報 $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ の極大値を包落する画像情報を $J_m(x, y)$ 、観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / J_m(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_m(x, y)\}^2 / 2]\}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / J_m(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_m(x, y)\}^2 / 2]\}]$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、微分干渉顕微鏡等の干渉顕微鏡によって得られた観察物体の画像情報から観察物体の段差、位相変化を検出するための装置およびこれを用いた検出方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

微分干渉顕微鏡などの干渉を利用した顕微鏡は、観察物体の位相変化や段差情報等を干渉により可視化できることから、生体や IC パターン等の微細構造の観察に広く用いられている。特に、近年磁気ディスクの表面に形成された磁気ヘッドの密着防止用微小突起（バンプ）の検査や、半導体のパターン露光に用いられる位相シフトレチクルの欠陥や位相差量の測定、半導体ウェハーの位置決め装置等に用いる試みがなされている。

【0003】

例えば、特開平 5-149719 号公報および特開平 7-248261 号公報において、微分干渉顕微鏡をシャーリング干渉計及びマッハツェンダー干渉計と考えて、位相シフトレチクルの欠陥検出や位相測定に応用する方法が開示されている。また、特開平 7-239212 号公報では、微分干渉顕微鏡を用いて半導

体ウエハー上の位置決めマークのエッジ部を検出して半導体ウエハーの位置決めを行う方法が開示されている。

【0004】

しかし、これらの方法は従来の干渉計測技術を顕微鏡に単純に適用したものであり、観察物体面での光の回折の影響は考慮されていない。また、観察物体における光の反射率や透過率の変化による光の強度変化に対する影響についての考慮もなされていない。

なお、これらの観察物体面上の光の回折や強度変化の影響については、特開平 9-15504 号公報において、本発明者が、微分干渉顕微鏡の結像特性を明らかにして、微分干渉顕微鏡によって得られた画像から観察物体の位相情報を抽出する方法を示した。

微分干渉顕微鏡は観察物体面上の位相変化を画像における濃淡の分布に変換している。逆に、微分干渉画像における濃淡の分布を解析することにより、観察物体面上の位相変化を検出することができると考えられている。また、観察物体の段差のエッジ部は急激な位相変化を伴うことから、画像の濃淡値にも急激な変化が生じるので、微分干渉画像から濃淡値が急激に変化する部分を抽出することにより観察物体の段差の位置を検出できることが、特開平 7-239212 号公報等々に示されている。

さらに、正常な標本の微分干渉画像をレファレンス画像とし、このレファレンス画像と観察物体像とを比較することで観察物体に混入した異物を検出する方法が、特開平 5-256795 号公報に示されている。

さらに、マイケルソン及びミロー型の干渉顕微鏡を用いて被観察物体の位相分布を計測することも行われている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、微分干渉画像における濃淡の分布から観察物体の位相分布を求める場合には、観察物体における光の透過率や反射率の変化、照明光の強度変化等の観察物体の位相変化以外の要素が混ざると、観察物体の位相変化を正確に検出することができなくなる。

【0 0 0 6】

観察物体の段差等の位相量の変化を計測するとき、段差が比較的小さい場合には、微分干渉顕微鏡に干渉計測で用いられる縞走査を組み合わせることにより、観察物体の位相情報を抽出することができる。縞走査を行うときには、偏光成分のリターデーション量が異なる4枚の画像を撮像して演算しなければならず、処理時間を短縮化する課題の達成はできない。

また、偏光成分のリターデーション量が0のときと π のときとでは、画像の濃淡値が大きく変化するので、正確な位相量を検出するためにはダイナミックレンジの広い撮像素子が必要になり、装置が複雑になる。

また、マイケルソン及びミロー型の干渉顕微鏡を用いて被観察物体の位相分布の計測を行う場合にも、被観察物体が段差等の構造を持っている場合には、その段差部分で光の回折や散乱の影響を受けて正確な位相量を計測することができないという問題点がある。

【0 0 0 7】

本発明は上記のような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、観察物体の段差、位相変化量等を干渉顕微鏡によって得られる観察物体の干渉画像から位相情報と強度情報とを分離することにより、従来の方法よりも短時間で検出するための装置とこれを用いた検出方法を提供することにある。

【0 0 0 8】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明による検出装置は、光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光学系と、観察物体の像を形成するための結像光学系と、該光源からの光を2つの偏光成分に分離するための偏光部材を少なくとも一つ有する顕微鏡光学系と、前記2つの偏光成分のリターデーション量を変化させる調整部材と、観察物体の微分干渉像を撮像する撮像部材とを備え、リターデーション量が等しく符号が異なる前記観察物体の2つの微分干渉像を撮像する過程を備えた光学装置において、該2つの微分干渉像の画像において夫々の対応する画素毎に差演算及び和演算を行い差画像情報及び和画像情報を取得する演算過程と、前

記リタデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を前記顕微鏡光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ 、前記和画像情報 $S(x, y)$ の平均値を α とすると、以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \alpha \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \alpha\}^2 / 2] \right\}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} \left[\left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \alpha \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \alpha\}^2 / 2] \right\} \right]$$

また、本発明による検出装置は、光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光路と、前記光源からの光を参照面に導く参照光路を有する干渉光学系と、該干渉光学系によって形成された観察物体の干渉像を撮像する撮像部材とを備えた光学装置において、前記観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ 、該画像情報 $H(x, y)$ を前記干渉光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報 $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ の極大値を包落する画像情報を $J_m(x, y)$ 、観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ とすると、以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \left\{ h(x, y) / J_m(x, y) \right\} / \left\{ [1 - \{h(x, y) / J_m(x, y)\}^2 / 2] \right\}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} \left[k \cdot \left\{ (h(x, y) / J_m(x, y)) \right\} / \left\{ [1 - \{h(x, y) / J_m(x, y)\}^2 / 2] \right\} \right]$$

【0009】

【発明の実施の形態】

本発明による検出装置は、光源と、光源からの光を2つの偏光成分に分離するための部材を備えた前記光源からの光を観察物体に導くための照明光学系と前記照明光学系内で分離された2つの偏光成分を再構成するための部材を備えた観察

物体の像を形成するための結像光学系とを有する微分干渉顕微鏡と、前記 2 つの偏光成分のリターデーション量を変化させる手段と、観察物体の像を撮像する手段と、この撮像手段により取り込まれた画像の演算を行う手段とを備えて構成している。

【 0 0 1 0 】

そして、本発明の検出装置において、照明光学系内で分離された 2 つの偏光成分のリターデーション量を検出して偏光成分のリターデーション量が等しく符号の異なる観察物体の 2 つの微分干渉画像を形成し、これら 2 つの微分干渉画像において夫々対応する画素毎に差演算および和演算を行って差画像と和画像を取得し、これら差画像と和画像における画像情報の比を演算し、得られた結果から所定の範囲の画像情報を抽出することによって、観察物体の位相が検出できる（第 1 の方法）。

【 0 0 1 1 】

本発明の検出装置において、照明光学系内で分離された 2 つの偏光成分のリターデーション量を検出して偏光成分のリターデーション量が等しく符号の異なる 2 つの微分干渉画像を形成して、これら 2 つの微分干渉画像において夫々対応する画素毎に差演算及び和演算を行なって差画像情報及び和画像情報を取得し、前記検出した偏光成分のリターデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる（第 1 の方法）。

和画像情報 $S(x, y)$ の平均値を求め、これを α とする。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \alpha \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot \left[1 - \{ d(x, y) / \alpha \}^2 / 2 \right] \right\} \dots (1)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \alpha \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot \left[1 - \{ d(x, y) / \alpha \}^2 / 2 \right] \right\}$$

.... (2)

【0012】

本発明の検出装置において、照明光学系内で分離された2つの偏光成分のリターデーション量を検出して偏光成分のリターデーション量が等しく符号の異なる2つの微分干渉画像を形成して、これら2つの微分干渉画像において夫々対応する画素毎に差演算及び和演算を行なって差画像情報及び和画像情報を取得し、前記検出した偏光成分のリターデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる(第2の方法)。

和画像情報 $S(x, y)$ の極大値を包落する画像情報を $\beta(x, y)$ とする。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \beta(x, y) \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \beta(x, y)\}^2 / 2] \right\} \quad \dots (3)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \beta(x, y) \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \beta(x, y)\}^2 / 2] \right\} \quad \dots (4)$$

【0013】

本発明の検出装置において、照明光学系内で分離された2つの偏光成分のリターデーション量を検出して偏光成分のリターデーション量が等しく符号の異なる2つの微分干渉画像を形成して、これら2つの微分干渉画像において夫々対応する画素毎に差演算及び和演算を行なって差画像情報及び和画像情報を取得し、前記検出した偏光成分のリターデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位

相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる (第3の方法)。

和画像情報 $S(x, y)$ から低周波成分の情報を抽出した画像情報を $\Gamma(x, y)$ とする。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) \} / \{ \sin \theta \cdot \Gamma(x, y) \} \quad \dots (5)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) \} / \{ \sin \theta \cdot \Gamma(x, y) \}] \quad \dots (6)$$

【0014】

一般の干渉顕微鏡により得られた干渉画像から位相量を検出することもできるが、以下、その方法について説明する。

干渉顕微鏡によって被観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ とし、その画像情報 $H(x, y)$ を干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報を $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ の極大値を包落する画像情報を $J_m(x, y)$ 、被観察物体面上の位相分布量を $\Phi(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる (第4の方法)。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{ h(x, y) / J_m(x, y) \} / \{ [1 - \{ h(x, y) / J_m(x, y) \}^2 / 2] \} \quad \dots (7)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{ h(x, y) / J_m(x, y) \} / \{ [1 - \{ h(x, y) / J_m(x, y) \}^2 / 2] \}] \quad \dots (8)$$

【0015】

干渉顕微鏡によって被観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ とし、その画像情報 $H(x, y)$ を干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコ

ンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報を $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ の極大値を平均化した値を J_c とし、被観察物体面上の位相分布量を $\Phi(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる（第5の方法）。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / J_c\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_c\}^2 / 2]\} \dots (9)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / J_c\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_c\}^2 / 2]\}] \dots (10)$$

【0016】

干渉顕微鏡によって被観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ とし、その画像情報 $H(x, y)$ を干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報を $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ を特定の領域に分割し、その領域内で平均化した値を $J_a(x, y)$ とし、被観察物体面上の位相分布量を $\Phi(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる（第6の方法）。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / J_a(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_a(x, y)\}^2 / 2]\} \dots (11)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / J_a(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_a(x, y)\}^2 / 2]\}] \dots (12)$$

【0017】

干渉顕微鏡によって被観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ とし、その画像情報 $H(x, y)$ を干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報

を $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ から低周波成分を抽出した画像情報を $JL(x, y)$ とし、被観察物体面上の位相分布量を $\Phi(x, y)$ とする時、次の条件式の何れかの方法を用いることにより観察物体面上の位相量 $\Phi(x, y)$ が検出できる（第7の方法）。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / JL(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / JL(x, y)\}^2 / 2]\} \dots (13)$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / JL(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / JL(x, y)\}^2 / 2]\}] \dots (14)$$

【0018】

本発明者は、微分干渉顕微鏡の結像特性について、結像特性の導き方から結果までを特開平9-15504号公報において詳細に説明している。

微分干渉顕微鏡の特性は、微分干渉顕微鏡における像強度分布を $I(x, y)$ 、微分干渉顕微鏡内の2つの偏光成分のリターデーション量を θ 、観察物体の光の透過（反射）率を $T(x, y)$ 、微分干渉顕微鏡の位相情報を $P(x, y)$ 、像の強度情報を $A(x, y)$ とすると、簡略的に次の式（15）で表せる。

$$I(x, y, \theta) = T(x, y) \{ (1 - \cos \theta) \cdot A(x, y) / 2 + \sin \theta \cdot P(x, y) \} \dots (15)$$

また、式（15）において $-\theta$ のとき、

$$I(x, y, -\theta) = T(x, y) \{ (1 - \cos \theta) \cdot A(x, y) / 2 - \sin \theta \cdot P(x, y) \} \dots (16)$$

となる。

【0019】

式（15）、（16）から（15）-（16）、（15）+（16）を計算すると、

$$\begin{aligned} & I(x, y, \theta) - I(x, y, -\theta) \\ &= 2T(x, y) \cdot \sin \theta \cdot P(x, y) \dots (17) \\ & I(x, y, \theta) + I(x, y, -\theta) \end{aligned}$$

$$= T(x, y) \cdot (1 - \cos \theta) \cdot A(x, y) \quad \dots (18)$$

となる。

よって、差画像情報と和画像情報を形成することにより微分干渉画像から位相情報と像の強度情報とを分離することが可能になる。

【0020】

ところで、微分干渉顕微鏡に干渉計測で用いられている縞走査を組み合わせて観察物体の位相分布を計測する方法については、特開平5-149719号公報等が開示されている。通常、微分干渉顕微鏡に縞走査法を組み合わせた場合、偏光成分のリターデーション量が0、 $\pi/2$ 、 π 、及び $3\pi/2$ の4枚の微分干渉画像を取り込み、この4枚の微分干渉画像の各画素データを用いて、

$$\tan^{-1} \left[\{ I(\pi/2) - I(3\pi/2) \} / \{ I(0) - I(\pi) \} \right] \quad \dots (19)$$

の演算を行うことで観察物体の位相情報を求めている。

【0021】

干渉計測における縞走査法は、観察物体表面での光の回折及び散乱は生じないことを前提としている。しかし、微分干渉顕微鏡は物体面で回折する光を微分干渉画像に変換しているために、式(15)で示したように、位相情報と強度情報の両方が組み合わされた形の画像が得られる。

偏光成分のリターデーション量 θ が $\pm\pi/2$ の画像を取り込み、差画像と和画像を形成すると、差画像から式(19)の「 $I(\pi/2) - I(3\pi/2)$ 」に相当する情報が得られる。

従って、微分干渉顕微鏡においては、 $\theta = \pm\pi/2$ の画像を用いることにより、縞走査法と同様の情報が得られる。なお、任意の θ に対しても同様の効果が得られる。

【0022】

よって、微分干渉顕微鏡で偏光成分のリターデーション量を検出しながら、偏光成分のリターデーション量が等しく符号の異なる2つの微分干渉像から差画像と和画像を形成し、これから各画素毎に像の比をとりその \tan^{-1} の値を求めることで観察物体のシア方向における位相量の微分値を検出することができる

。さらに、その微分値のシア方向の積分値を求めることで、より正確に観察物体の各点における位相量を定量測定することができる。

【 0 0 2 3 】

また、観察する物体や微分干渉顕微鏡のシア量により、微分干渉画像の濃淡が異なるので、濃淡が最良になるリターデーション量で画像を取り込み、位相検出することにより高精度の計測が可能となる。

検出する位相量が小さい場合には、 \tan^{-1} の値を求めなくても近似的に位相量の微分値を求めることができ、さらに積分処理を行うことで位相量を求めることもできる。

この場合、2枚の微分干渉画像から観察物体の位相分布を求めることができるので、従来の縞走査法を用いるよりも計測時間を短縮することができる。

【 0 0 2 4 】

また、微分干渉顕微鏡では、偏光成分のリターデーション量が0のときと π のときとでは、画像の濃淡の分布が大きく変わるので、縞走査法を用いる場合にはダイナミックレンジが非常に広い撮像素子が必要になる。

なお、本発明では、特に偏光成分のリターデーション量が π の画像を必要としないので、ダイナミックレンジが非常に広い撮像素子を用いなくても計測が可能である。

【 0 0 2 5 】

微分干渉顕微鏡を用いて観察物体の位相分布を計測する場合、微分干渉顕微鏡の瞳径は有限であるため、観察物体で回折した光を全て画像情報として取得することはできない。微分干渉顕微鏡の結像特性は前述の式(15)で表される。また、位相情報 $P(x, y)$ と像の強度情報 $A(x, y)$ は次の式(20)、(21)に示すように、夫々特有の光学的応答関数でコンボリューションされた形になっている。従って、観察物体の位相情報を正確に求めるためには微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を考慮する必要がある。

【 0 0 2 6 】

【数 1】

$$P(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sin\{\pi(\Delta_x f_x + \Delta_y f_y)\} M(f_x, f_y) \Phi(f_x, f_y) \\ \cdot \exp\{2i\pi(f_x x + f_y y)\} df_x df_y \quad \dots (20)$$

【数 2】

$$A(x, y) = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \cos\{\pi(\Delta_x f_x + \Delta_y f_y)\} M(f_x, f_y) \\ \cdot \Phi(f_x, f_y) \otimes \Phi^*(f_x, f_y) \exp\{2i\pi(f_x x + f_y y)\} df_x df_y \\ + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} T(f_x, f_y) \Phi(f_x, f_y) \Phi^*(-f_x, -f_y) \\ \cdot \exp\{4i\pi(f_x x + f_y y)\} df_x df_y \quad \dots (21)$$

但し、

【数 3】

$$M(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Q(\xi, \zeta) R(\xi, \zeta)^* R(\xi + f_x, \zeta + f_y) d\xi d\zeta$$

【数 4】

$$T(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Q(\xi, \zeta) R(\xi + f_x, \zeta + f_y) R^*(\xi - f_x, \zeta - f_y) d\xi d\zeta$$

なお、ここで、 $Q(\xi, \zeta)$ は照明光学系の瞳関数、 $R(\xi, \zeta)$ は結像光学系の瞳関数、 Δ_x, Δ_y はシアー量の x 成分、 y 成分、 f_x, f_y は x 及び y 方向の空間周波数を示す。

【0027】

しかし、差画像を形成した後にその差画像を式 (20) に示す微分干渉顕微鏡の位相情報に対応した光学的応答特性を用いてデコンボリューション処理を行い、和画像との差を求める等により積分処理を行わなくとも観察物体の位相量を正確に求めることができる。

【0028】

しかしながら、観察物体の位相量が弱位相領域より大きくなると式(21)の2項と3項の影響が大きくなり始める。観察物体の位相量を正確に求めるには、観察物体で回折散乱されない0次光を検出する必要がある。しかし、強度上は実際的には回折散乱された光と混ざった状態でしか検出できないので、強度情報から0次光成分を分離しなければならない。

【0029】

分離する方法としては、像の濃淡情報をフーリエ変換し低い周波数のみを抽出することにより、0次光成分を分離することができる。そして、これにより検出時間の短縮化や、微分干渉画像を検出する撮像素子のダイナミックレンジの影響を受け難い等の効果が得られる。

【0030】

観察物体の位相変化が比較的大きく、段差等のエッジ部が存在する場合には、そのエッジ部で光の散乱が生じる。このエッジ部で生じる錯乱が位相検出の精度を低下させる原因となり得る。この影響をなくすために、偏光成分のリターデーション量が0のときの画像と偏光成分のリターデーション量が $\pm\theta$ のときの画像を各1枚ずつ計3枚を撮像し、偏光成分のリターデーション量が $\pm\theta$ の画像から求められる差画像情報 $D(x, y)$ 、和画像情報 $S(x, y)$ とリターデーション量が0の画像情報 $O(x, y)$ とから、 $B(x, y) = S(x, y) - 2 \cdot O(x, y)$ の値を求め、差画像情報 $D(x, y)$ と $B(x, y)$ との比を求めることによりエッジ部の散乱光を除去することができる。

【0031】

また、デコンボリューション処理を行うことにより、微分干渉顕微鏡の応答特性の影響を考慮した位相検出を行うことができる。また、画像情報の極小値を包絡する画像情報を形成し、差画像のデコンボリューション画像との比を求めることにより、エッジ部での散乱光の影響を考慮した位相検出を行うことができる。

【0032】

また、本願発明の方法では、微分干渉顕微鏡を用いた位相量測定の方法について示した。本発明者が米国特許第5751475号で開示している位相差顕微鏡を用いても同様に正確な位相量の検出を行うことが出来る。この場合、 θ は位相

膜で与えられる位相差量である。また、第19から第25の方法を用いることにより、微分干渉顕微鏡を初めとする干渉顕微鏡で、被観察物体の位相量測定を行なう時に、被観察物体面での光の回折及び散乱の影響を低減することが出来、より正確な位相量測定を可能にする。

【0033】

以下、本発明の実施例を示し、本発明を詳細に説明する。

【0034】

第1実施例

本実施例は、位相物体の位相量の計測について位相格子を用いた検出方法を示すものである。本実施例では、透過型の微分干渉顕微鏡を組み込んだ検出装置を用いる。その概略を図1に示す。

【0035】

図1に示すように、本実施例で用いる検出装置は、光源21と、照明光学系22と結像光学系23とからなる微分干渉顕微鏡24と、微分干渉顕微鏡24で得られた像を撮像するCCDカメラ25と、CCDカメラ25で撮像された像を演算するマイクロコンピュータ26とにより構成する。

照明光学系22は、レンズ27、絞り28、レンズ29、偏光子30、1/4波長板31、ノマルスキープリズム32、及びコンデンサーレンズ33からなっている。また、観察光学系23は、対物レンズ34、ノマルスキープリズム35、検光子36、及びレンズ37を配置して構成している。

【0036】

図1に示した検出装置において、光源21から射出された光は偏光子30により偏光された後、1/4波長板31を透過しコンデンサーレンズ33の瞳位置に常光と異常光との分岐点がローカライズするように配置したノマルスキープリズム32によりコンデンサーレンズ33を介して観察物体15上で常光と異常光とを所定のシアー量だけ分離させる。観察物体15を透過した常光と異常光は対物レンズ34を透過した後、対物レンズ34の瞳位置に前記常光と異常光との合波点がローカライズするように配置したノマルスキープリズム35により再構成され、さらに検光子36を透過する際に前記常光と異常光とが互いに干渉し合い、

レンズ 37 を介して CCD カメラ 25 の結像面に観察物体 15 の微分干渉像を形成する。

【0037】

本実施例では、光源 21 内には干渉フィルタを配置し、射出される照明光が波長 550 nm の準単色光になるように設定している。

また、偏光子 30 は光軸を中心として回転可能になっている。さらに、偏光子 30 にはパルスモータ 38 を接続しこれをマイクロコンピュータ 26 で制御可能にして、偏光子 30 の回転角度を自由に設定できるようにしてある。従って、マイクロコンピュータ 26 によりパルスモータ 38 の回転を制御することにより、偏光子 30 で偏光成分のリターデーション量を設定することができる。

1/4 波長板 31 はその進相軸若しくは遅相軸が検光子 36 の偏光方向と一致するように固定されている。

【0038】

まず、本実施例では、均一的な位相物体を観察し、偏光子 30 を回転させながら像の濃淡分布を取り込み、偏光子 30 の回転角と偏光成分のリターデーション量の変化を求めておく。

次に、偏光成分のリターデーション量が θ になるように偏光子 30 を回転させて観察物体 15 の画像を取り込む。なお、このときの偏光子 30 の回転角をマイクロコンピュータ 26 で検出し、同時にこのときの偏光成分のリターデーション量もマイクロコンピュータ 26 で記憶する。同様に、偏光成分のリターデーション量が $-\theta$ になるように偏光子 30 を回転させて観察物体 15 の画像を取り込む。また、このときの偏光子 30 の回転角をマイクロコンピュータ 26 で検出し、同時にこのときの偏光成分のリターデーション量もマイクロコンピュータ 26 で記憶する。そして、取り込んだ偏光成分のリターデーション量が θ と $-\theta$ である 2 枚の画像から差画像と和画像を形成する。ここで差画像情報 $D(x, y)$ と和画像情報 $S(x, y)$ が得られる。

さらに、形成した差画像をマイクロコンピュータ 26 において図 2 に示す微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションして、新たに光学的応答関数を考慮した位相情報画像を形成し、画像情報 $d(x, y)$ を得る。その

後、形成された各画像情報を前記和画像で割り算し、 \tan^{-1} の値を求め、検出した偏光成分のリターデーション量 θ から求めた以下の値を掛けて位相分布に変換して位相量 $\Phi(x, y)$ が求まる。

【0039】

$$k \cdot (1 - \cos \theta) / 2 \sin \theta \quad \text{但し } k = \lambda / 2\pi \quad (\lambda = 550 \text{ nm})$$

..... (22)

【0040】

図3 (a), (b) は夫々偏光成分のリターデーション量が θ , $-\theta$ である位相物体の画像を示している。図3 (c), (d) は同図 (a), (b) に示した画像により形成された差画像、和画像を示している。図3 (e) はこのときの位相分布の再現図 (格子の断面図) を示している。

また、参考までに従来の縞走査法を用いてデコンボリューション処理を行った位相分布を再現した格子の断面図を図4に示す。

【0041】

以上のように、本実施例によれば、偏光成分のリターデーション量が $\pm\theta$ の2つの画像から従来の縞走査法による測定と同等の観察物体の位相分布が求められることが分かる。特に、従来の縞走査法を用いる場合には偏光成分のリターデーションが異なる4つの画像が必要になるのに対し、本実施例では偏光成分のリターデーション量が異なる2つの画像を用いるのみで従来の方法と同様に位相分布を求めることができるので、計測時間を短縮することができる。

【0042】

ところで、本実施例の検出方法において、予め観察する物体の位相量が比較的小さいことが分かっている場合には、 $\tan \phi = \phi$ の近似が成り立つので、 \tan^{-1} の値を求める処理を省略することができ、計測時間をさらに短縮することができる。そして、差画像と和画像との比を求めた後の画像をデコンボリューション処理しても同様の結果が得られる。

【0043】

また、微分干渉顕微鏡の光学的応答特性は、照明光学系の明るさ絞りの径の大きさにより特性が変わる。観察物体によっては位相分布が特定の空間周波数帯域

に偏る場合がある。このような物体の位相検出を行うときには、明るさ絞りの径を適当な大きさに設定することにより、応答特性を 1 に近い値のまま維持できるので、デコンボリューション処理を行わなくても位相分布を正確に求めることができる。

【 0 0 4 4 】

本実施例では、偏光成分のリターデーション量の検出を偏光子 3 0 の回転角を検出することにより行っているが、検出装置に偏光成分のリターデーション量を検出する手段を付加し、この検出手段からの信号を用いて偏光成分のリターデーション量を求めてもよい。

また、偏光成分のリターデーション量を変化させる場合、偏光子 3 0 を回転させる方法だけではなく、偏光子 3 0 と 1 / 4 波長板 3 1 との間に液晶素子を挿入し、液晶素子の印加電圧を変化させる方法や、偏光子 3 0 と 1 / 4 波長板 3 1 との間に 1 / 2 波長板を挿脱可能に配置する方法等を用いても同様の効果が得られる。

【 0 0 4 5 】

また、本実施例では透過観察を行う例を示しているが、落射型の微分干渉顕微鏡を用いても同様の位相分布を求めることができる。但し、落射型のものを用いる場合には、観察物体が金属等の反射物体である場合、検出される位相分布が 2 倍の値になる。従って、このような場合には、前述の式 (2 2) において $k = \lambda / 4 \pi$ として位相分布を求めることが必要である。

【 0 0 4 6 】

本実施例では、偏光成分のリターデーション量が $\pm \theta$ の 2 つの画像から観察物体の位相分布を求める具体的な方法を示しているが、同様に、偏光成分のリターデーション量が $\pm \theta$ の 2 つの画像と偏光成分のリターデーション量が 0 の画像を取り込み（その時の画像情報を $O(x, y)$ とする。）、図 3 (d) に示した画像から偏光成分のリターデーション量が 0 の画像情報の 2 倍を引き算して $B(x, y)$ を求め（但し $B(x, y) = S(x, y) - 2 \cdot O(x, y)$ ）、図 9 (c) に示した差画像と $B(x, y)$ との比を形成することにより、観察物体のエッジ部の光の散乱の影響を考慮した位相分布を検出することができる。

【 0 0 4 7 】

以上、説明したように、撮像手段（ＣＣＤカメラ）を１台にし、偏光成分のリターデーション量を変化させながら画像を撮像する方法について述べてきた。しかし、本発明の意図は１台の撮像手段を使用することに限定されることはなく、２台の撮像手段を用いても同様の効果を得ることができる。

【 0 0 4 8 】

例えば、図５，６に示したように、検光子に代えて観察光学系中にＰＢＳ（偏光ビームスプリッタ）を配置して２つの直交する２偏光成分に分離し、夫々の偏光成分をＣＣＤカメラで受光するようにしてもよい。このようにすることにより、２つのＣＣＤカメラの結像面には夫々偏光成分のリターデーション量が等しく符号の異なる微分干渉画像が形成される。

よって、この２台のＣＣＤカメラからの画像を演算することにより、観察物体の勾配、平面部、複屈折部分、歪み、段差のエッジ部分、位相分布等の物理量を検出することができる。

【 0 0 4 9 】

第２実施例

本実施例は、微分干渉顕微鏡を用いて検出した位相情報から、被観察物体の回折及び散乱の影響を補正し、正確な位相量を測定する方法を示すものである。この実施例において、被観察物体の位相情報を検出するための微分干渉顕微鏡には、第１実施例で示した微分干渉顕微鏡を用い、計測については第１実施例と同様に位相格子の測定を例に説明する。

【 0 0 5 0 】

図３の（ａ）及び（ｂ）に示す微分干渉画像を撮像し、（ｃ）及び（ｄ）に示す差画像と和画像を形成する。図３の（ｃ）及び（ｄ）の画像の断面濃淡分布を図７の（ａ）及び（ｂ）に示す。図７の（ａ）を微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を用いてデコンボリューションすることにより、位相分布を求めることが出来る。但し、差画像をデコンボリューションしただけでは、微分干渉画像を形成する際の照明の明るさに依存することになり、位相量を定量的に計測することが出来ない。この問題を解決する為に、和画像を形成して照明の明るさ情報を求める

必要がある。

明るさ情報を求める方法として、例えば和画像を特定の領域に分割し、領域毎に和画像の画像情報 $S(x, y)$ の平均値 α を求める。この平均値 α を、その領域を代表する明るさ情報として、領域内の差画像をデコンボリューションした画像情報を明るさ情報で割り算して位相情報に変換する。位相情報に変換する場合は、(差画像/明るさ情報) の \tan^{-1} を計算する。また、(差画像/明るさ情報) が小さい場合は、 \tan^{-1} を省略しても位相情報に変換することが出来る。

領域の分割方法としては、差画像の極大値と極小値の間隔 p_m を 1 辺とする正方形を最小単位として、正方形の任意の整数倍を 1 つの領域と考える方法 (図 9) や、画像情報を構成する画素の整数倍を 1 つの領域とする方法等がある。

【0051】

一般に、撮像した画像情報には撮像素子等の電気ノイズ等が載り、図 7 の (b) のように小刻みな振動 (空間周波数的に高い周波数の振動) が現れる。この小刻みな振動を除去することにより高精度な位相計測を行なうことが可能になる。

ノイズの影響を取り除く方法を以下に示す。先ず上述したように平均化する方法がある。次に、画素毎に値を比較し、前後の画素より値が大きくなる画素を抜き取り極大値を求め、図 8 の (a) に示すように、この極大値を直線で繋いで包絡線を求める方法がある。この包絡線をもとにして得られた画像情報 $\beta(x, y)$ を平均値 α の代わりに用いることもできる。また、一般にノイズ成分は被観察物体の長さに関与する値 p_m に対し十分に細かい振動である。よって、3 番目の方法としては、図 7 の (b) に示すような画像情報をフーリエ変換し、特定の周波数以上の周波数 ($1/p_m$ 程度) 成分をカットして再度フーリエ変換する方法である。この場合、和画像情報 $S(x, y)$ から低周波成分の情報が抽出されることになり、これによる画像情報 $\Gamma(x, y)$ を用いることもできる。これによると、ノイズ成分が除去された滑らかな画像情報が得られる。

以上の方法により、ノイズの影響を取り除いた明るさ情報を得ることが出来る。位相量の小さい被観察物体に対しては、この明るさ情報で差画像をデコンボリューションした画像情報を割ることにより、位相分布を定量的に求めることが出

来る。

【0052】

また、位相量が小さくない被観察物体は、明るさ情報に位相量を2乗した情報が加わっている。被観察物体の位相分布を定量的に求めるためには、明るさ情報から位相量を2乗した情報を差し引く必要がある。次に位相量の2乗の影響を取り除く方法について説明する。

和画像からノイズ成分を除去する場合と同様に、各画素毎に値を比較していく、前後の画素より値が小さくなる画素を抜き取って極小値を求め、図8の(b)に示すように、この極小値を直線で繋いで極小値を包落する画像情報を形成する。第5の方法で示すように、極小値を包落した画像情報で、差画像をデコンボリューションした画像情報を割り算するか、または割り算した情報の \tan^{-1} を形成する。

和画像から上述したような方法で明るさ情報を求め、この明るさ情報で差画像をデコンボリューションした画像情報を割り算する。これにより、実際の位相分布よりは小さい位相分布が得られる。この得られた位相分布を用いて、位相量の2乗成分を計算して、明るさ情報を補正することで、第1から第3の方法に示す式により位相分布を補正することで正確な位相分布を求めることが出来る。

【0053】

図7の(b)に示すPdの値は、位相量を2乗した値の半分の値に相当するが、この値も顕微鏡の応答特性の影響を受けているので、より正確な位相分布を求めるためには、この応答特性を求めてデコンボリューションする必要がある。第1から第3の方法は、明るさ情報のデコンボリューションを近似的に行なっているものである。

ここで、明るさ情報の補正を行なう方法として、差画像情報から抽出した位相情報をデコンボリューション処理により求めた位相分布を2乗し、その半分の値を計算して1から引き算し、その値で位相分布を割り算して補正している。

また、1から位相分布を2乗した値の半分の値の平方根をとった値で、位相分布の値を割り算する事でも同等の補正を行なう事が出来る。

被測定物体の位相分布の大きさが、概算的に解っている場合には上記の2通り

の補正方法を選択的に用いて、正確な位相分布測定を行なう事が出来る。

以上は、微分干渉顕微鏡を例に説明を行ってきたが、これは微分干渉顕微鏡に固有の手法ではなく、米国特許第 5751475 号で開示している位相差顕微鏡についても同様である。

【0054】

更に、一般的な干渉顕微鏡による干渉画像の解析にも適応できることを示す。以下、微分干渉顕微鏡及び位相差顕微鏡以外の干渉顕微鏡として、「A. Dubois, A. C. Boccara and M. Lebec, OPTICS LETTERS, Vol. 24, No. 5, March 1, 1999, p309-311」に示されているマイケルソン型の干渉顕微鏡を例に図 10 を参照しながら説明する。

この顕微鏡は、光源である LED から発せられた光を偏光子で直線偏光にし、偏光ビームスプリッタで 2 つの偏光成分に分離されて、 $\lambda/4$ 板を通過して対物レンズに入り、被観察物体及び参照ミラーで反射され、再び $\lambda/4$ 板を通過して偏光ビームスプリッタに入る。この場合、それぞれの偏光面は 90° 回転しているので、2 つの偏光成分とも CCD がある光路に導かれ、偏光弾性変調器と検光子を透過して CCD で受光される。偏光弾性変調器は 2 つの偏光成分の位相差量（リターデーション量）を変えることが出来る素子であり、2 つの光路の相対的な光路差を制御することが出来る。

【0055】

この偏光弾性変調器を操作することにより、縞走査法等の手法により位相分布を画像化した画像情報 $H(x, y)$ を求めることが出来る。しかし、観察物体が段差等の構造を持っている場合などは、段差部分で回折及び散乱がおきるので、微分干渉顕微鏡で示した場合と同様に、 $H(x, y)$ には位相量の 2 乗に相当する明るさ成分が加わってしまう。従って、位相量 $\Phi(x, y)$ を正確に検出する為には、この位相量の 2 乗に相当する成分を補正する必要がある。

この場合、リターデーション量を 0 又は π の時の画像を撮像して、明るさ情報を求め、次に縞走査法等の方法で位相分布を求める。通常の顕微鏡の応答特性を用いてデコンボリューションして更に正確な位相分布を求める。この位相分布を

2 乗し、その半分の値を計算する。1 からこの値を引き算し、その平方根を求め、位相分布を平方根を取った値で割り算して補正を行なう。

【 0 0 5 6 】

縞走査法を行なう場合は、その処理の中で明るさ情報が求められているので、補正を行なうだけで良い。

位相情報のみを分離した場合は、第 4 から第 7 の方法で示すように、明るさ情報を求めてから補正を行なうことにより、観察物体の位相分布量を正確に検出することが出来る。

【 0 0 5 7 】

以上説明したように本発明は、特許請求の範囲に記載した特徴と併せ、以下の (1) ～ (5) に示す特徴も有している。

(1) 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光学系と、観察物体の像を形成するための結像光学系と、該光源からの光を 2 つの偏光成分に分離するための偏光部材を少なくとも一つ有する顕微鏡光学系と、

前記 2 つの偏光成分のリタデーション量を変化させる調整部材と、

観察物体の微分干渉像を撮像する撮像部材とを備え、リタデーション量が等しく符号が異なる前記観察物体の 2 つの微分干渉像を撮像する過程を備えた光学装置において、

該 2 つの微分干渉像の画像において夫々の対応する画素毎に差演算及び和演算を行い差画像情報及び和画像情報を取得する演算過程と、

前記リタデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を前記顕微鏡光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ 、前記和画像情報 $S(x, y)$ の極大値を包落する画像情報を $\beta(x, y)$ とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \beta(x, y) \} \\ / \{ \sin \theta \cdot [1 - \{d(x, y) / \beta(x, y)\}^2 / 2] \}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} \left[\left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) / \beta(x, y) \right\} \right]$$

$$/ \left\{ \sin \theta \cdot \left[1 - \left\{ d(x, y) / \beta(x, y) \right\}^2 / 2 \right] \right\}$$

(2) 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光学系と、観察物体の像を形成するための結像光学系と、該光源からの光を2つの偏光成分に分離するための偏光部材を少なくとも一つ有する顕微鏡光学系と、

前記2つの偏光成分のリタデーション量を変化させる調整部材と、

観察物体の微分干渉像を撮像する撮像部材とを備え、リタデーション量が等しく符号が異なる前記観察物体の2つの微分干渉像を撮像する過程を備えた光学装置において、

該2つの微分干渉像の画像において夫々の対応する画素毎に差演算及び和演算を行い差画像情報及び和画像情報を取得する演算過程と、

前記前記リタデーション量を θ 、前記差画像情報を $D(x, y)$ 、前記和画像情報を $S(x, y)$ 、前記各画像情報に対応する観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ 、前記差画像情報 $D(x, y)$ を前記顕微鏡光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $d(x, y)$ 、前記和画像情報 $S(x, y)$ から低周波成分情報を抽出した画像情報を $\Gamma(x, y)$ とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot d(x, y) \right\} / \left\{ \sin \theta \cdot \Gamma(x, y) \right\}$$

(3) 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光路と、前記光源からの光を参照面に導く参照光路を有する干渉光学系と、

該干渉光学系によって形成された観察物体の干渉像を撮像する撮像部材とを備えた光学装置において、

前記観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ 、該画像情報 $H(x, y)$ を前記干渉光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報 $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ の極大値を平均化した値を J_c 、観察物体面上の位相量

を $\Phi(x, y)$ とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / Jc\} / \{[1 - \{h(x, y) / Jc\}^2 / 2]\}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / Jc\} / \{[1 - \{h(x, y) / Jc\}^2 / 2]\}]$$

(4) 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光路と、前記光源からの光を参照面に導く参照光路を有する干渉光学系と、

該干渉光学系によって形成された観察物体の干渉像を撮像する撮像部材とを備えた光学装置において、

前記観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ 、該画像情報 $H(x, y)$ を前記干渉光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報 $J(x, y)$ とし、この画像情報 $J(x, y)$ を所定の領域に分割し、該所定の領域内で平均化した値を $Ja(x, y)$ 、観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / Ja(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / Ja(x, y)\}^2 / 2]\}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / Ja(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / Ja(x, y)\}^2 / 2]\}]$$

(5) 光源と、前記光源からの光を観察物体に導く照明光路と、前記光源からの光を参照面に導く参照光路を有する干渉光学系と、

該干渉光学系によって形成された観察物体の干渉像を撮像する撮像部材とを備えた光学装置において、

前記観察物体の位相分布を画像化した画像情報を $H(x, y)$ 、該画像情報 $H(x, y)$ を前記干渉光学系の光学的応答特性を用いてコンボリューションした画像情報を $h(x, y)$ 、強度分布を画像化した画像情報 $J(x, y)$ とし、こ

の画像情報 $J(x, y)$ から低周波成分を抽出した画像情報を $J_L(x, y)$ 、観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ とするとき、

以下の式のいずれかを用いて観察物体面上の位相量を $\Phi(x, y)$ を検出する演算過程を有する演算装置を備えていることを特徴とする光学装置。

$$\Phi(x, y) = k \cdot \{h(x, y) / J_L(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_L(x, y)\}^2 / 2]\}$$

$$\Phi(x, y) = k \cdot \tan^{-1} [k \cdot \{h(x, y) / J_L(x, y)\} / \{[1 - \{h(x, y) / J_L(x, y)\}^2 / 2]\}]$$

【0058】

【発明の効果】

偏光成分のリターデーション量が $\pm \theta$ である 2 つの画像から観察物体の位相分布を計測することができるので、観察物体の位相分布を計測する時間を短縮することができる。また、従来の縞走査法と比較すると画像を撮像する素子のダイナミックレンジに影響されることが少なくなり、装置の簡素化も図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明による観察物体の物理量を検出するための装置の構成を示す図である。

【図 2】

微分干渉顕微鏡の光学的応答特性を示すグラフである。

【図 3】

(a), (b) は夫々図 1 に示した装置を用いて第 1 実施例による方法で取得した偏光成分のリターデーション量が θ , $-\theta$ のときの観察物体の微分干渉像を示す図である。(c), (d) は夫々 (a), (b) に示した画像により形成した差画像, 和画像を示す図である。(e) は位相分布再現図である。

【図 4】

従来の縞操作法により検出される位相分布再現図である。

【図 5】

本発明による観察物体の物理量を検出するための装置の構成を示す図である。

【図 6】

本発明による観察物体の物理量を検出するための装置の構成を示す図である。

【図 7】

(a), (b) は図 3 の (c), (d) に示した画像の断面濃淡分布を夫々示す図である。

【図 8】

(a), (b) は図 7 (b) に示した分布の極大値と最小値を直線で繋いで得られる包絡線を夫々示す図である。

【図 9】

領域の分割方法を示す図である。

【図 10】

本発明の正確な位相分布を求める方法に使用される装置の構成の概略図である。

【符号の説明】

1, 21	光源
2, 22	照明光学系
3, 23	結像光学系
4, 24	微分干渉顕微鏡
5, 25	CCDカメラ
6, 26	マイクロコンピュータ
7, 9, 17, 27, 29, 37	レンズ
8, 28	絞り
10, 30	偏光子
11, 31	1/4波長板
12	ハーフミラー
13, 32, 35	ノマルスキープリズム
14, 34	対物レンズ
15	観察物体
16, 36	検光子

18, 38

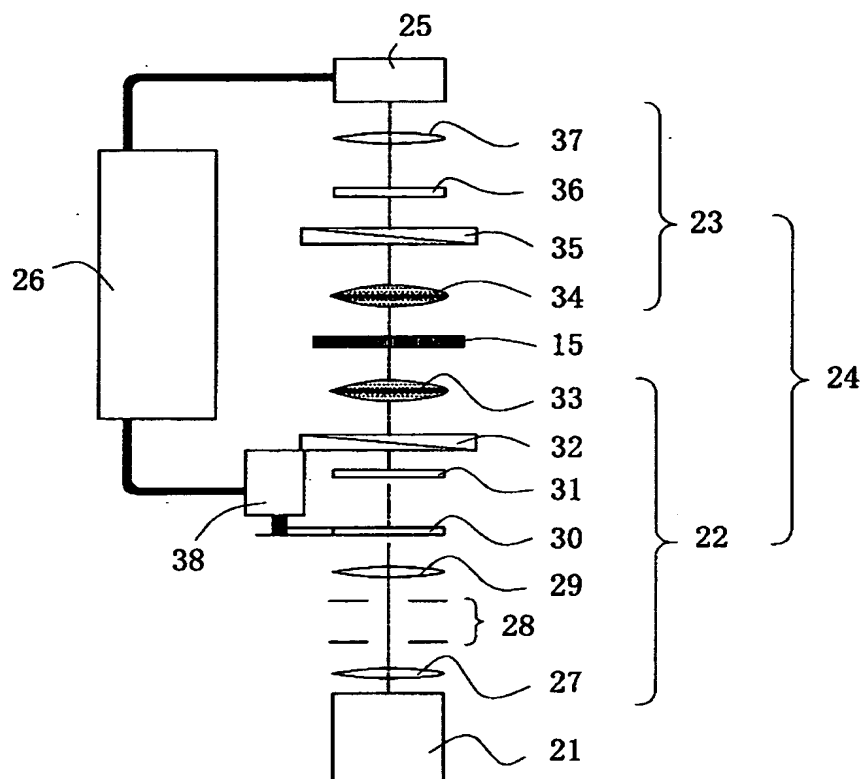
パルスモータ

33

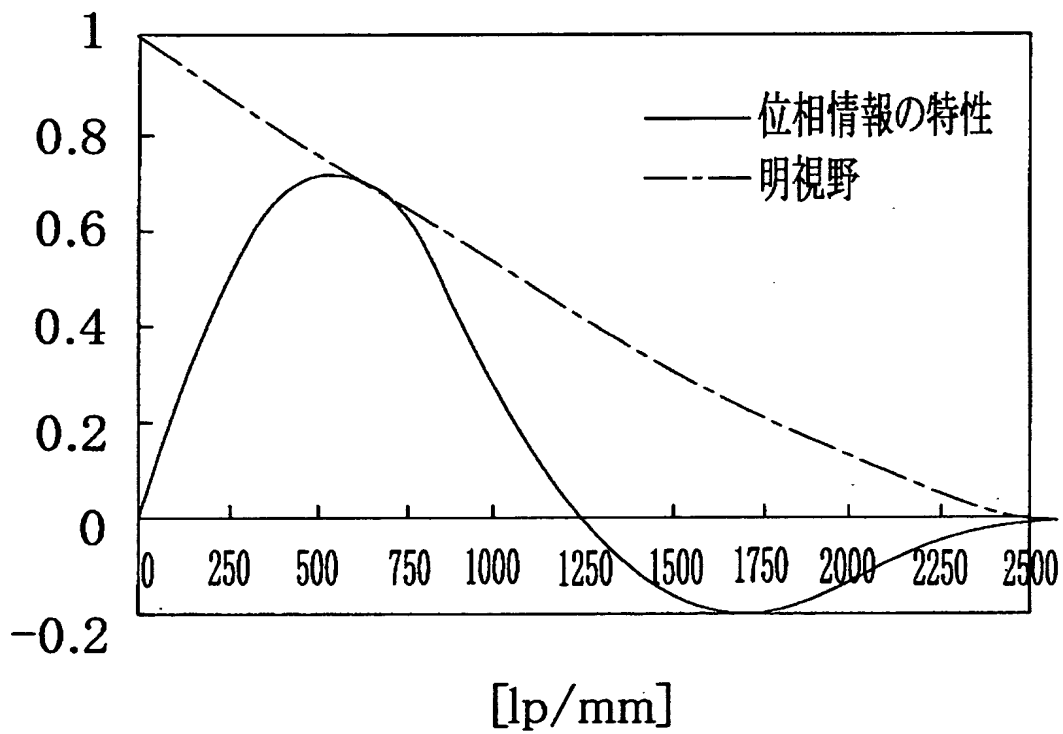
コンデンサーレンズ

【書類名】 図面

【図 1】

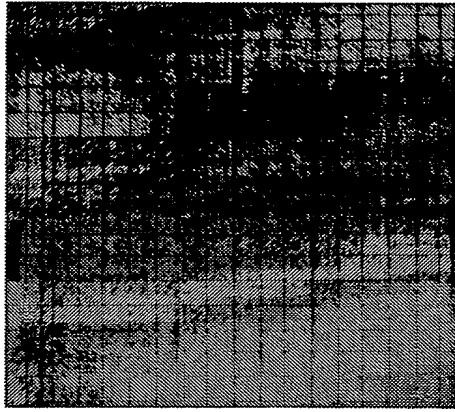


【図 2】



【図 3】

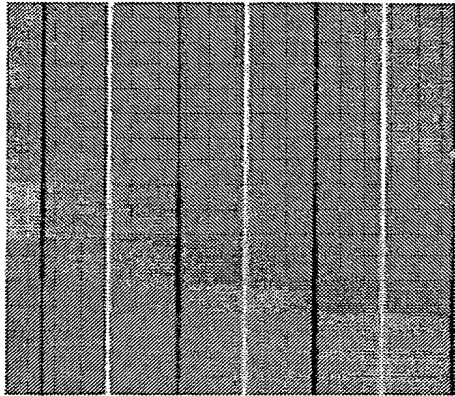
図面代用写真



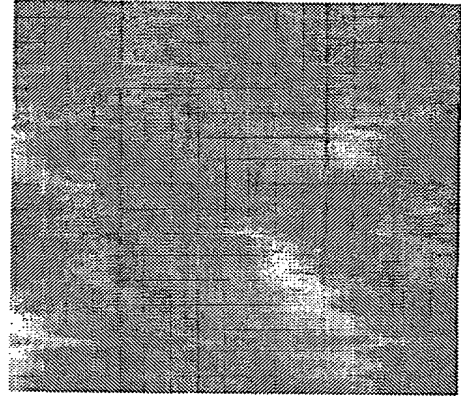
(a)



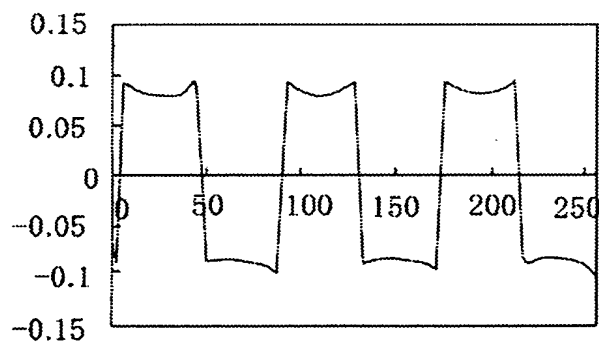
(b)



(c)

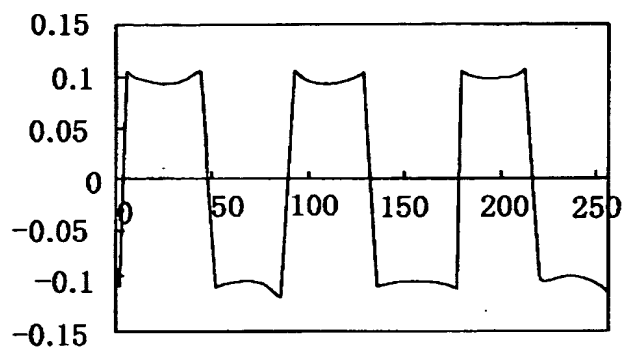


(d)

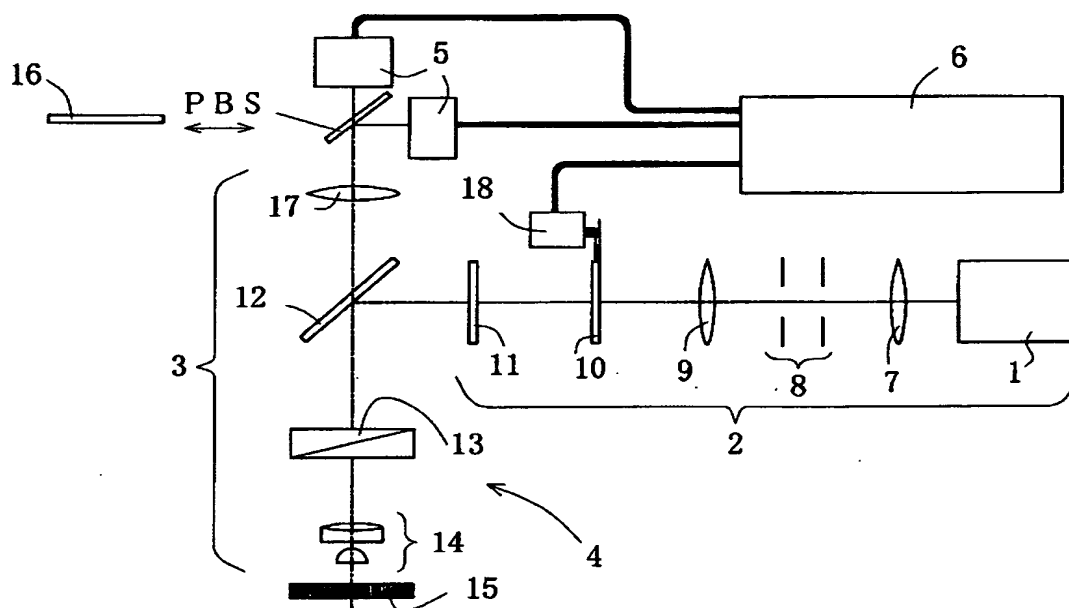


(e)

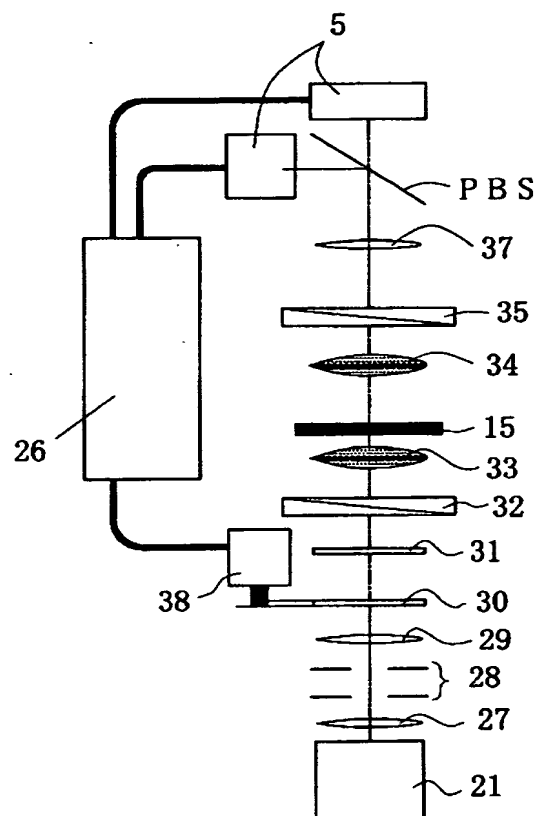
【図 4】



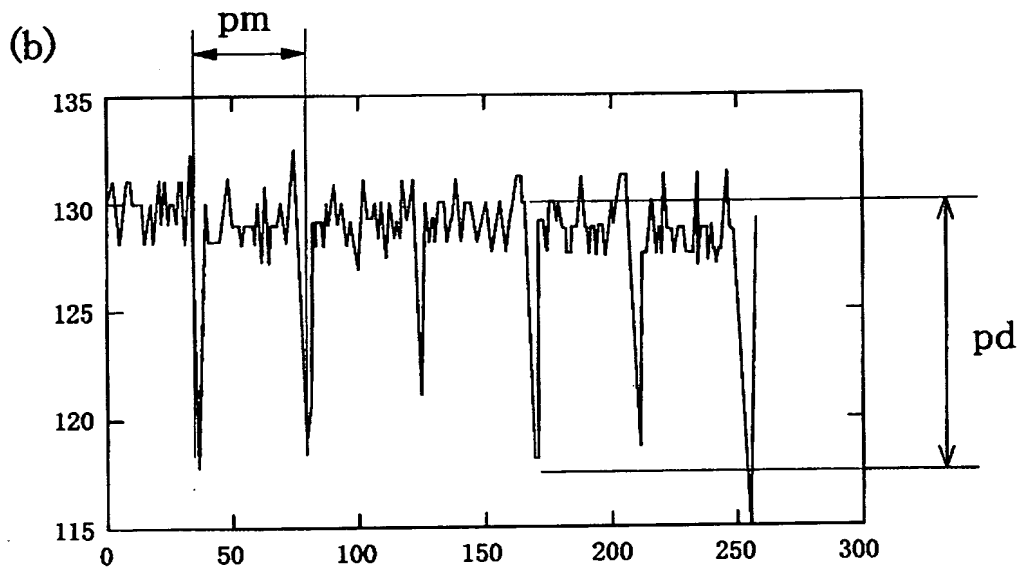
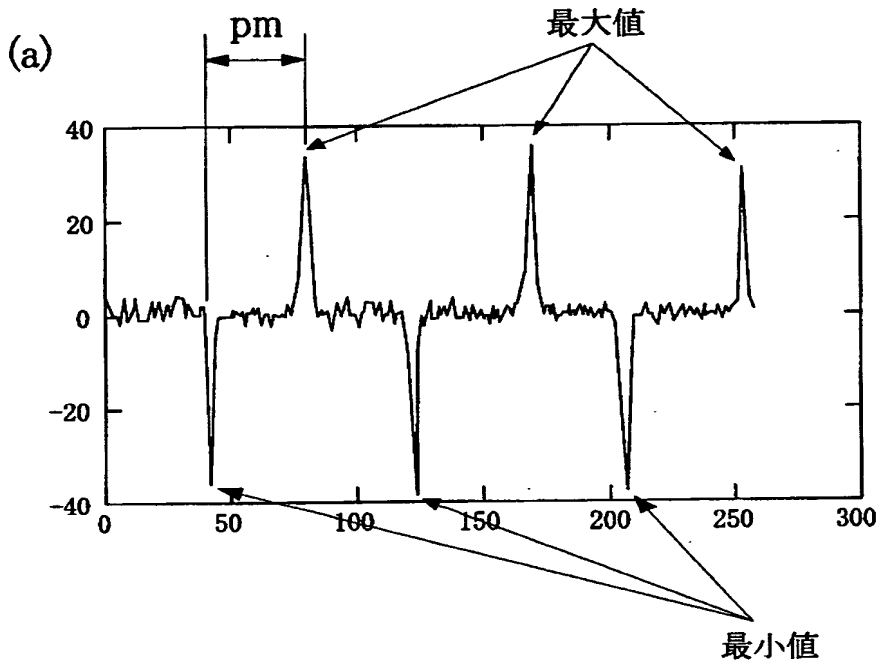
【図 5】



【図 6】

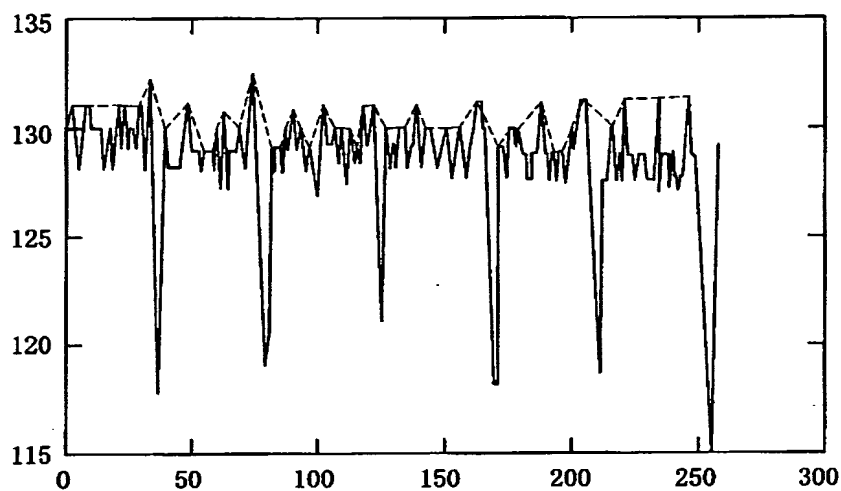


【図 7】

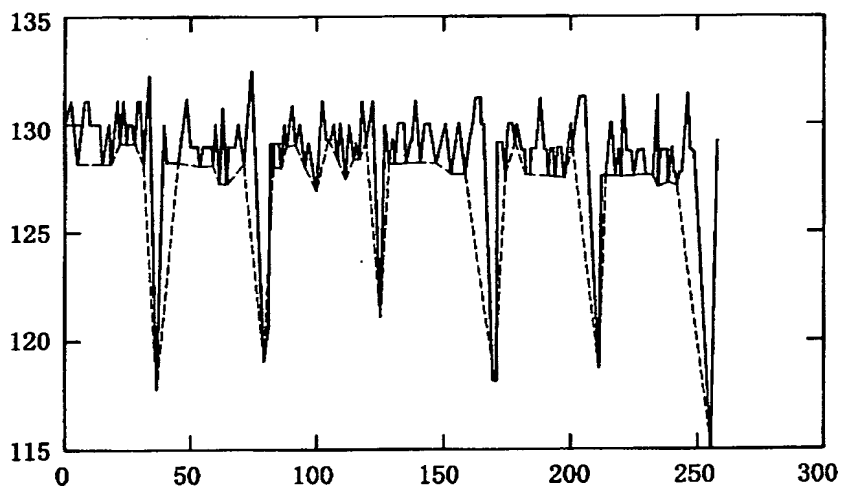


【図 8】

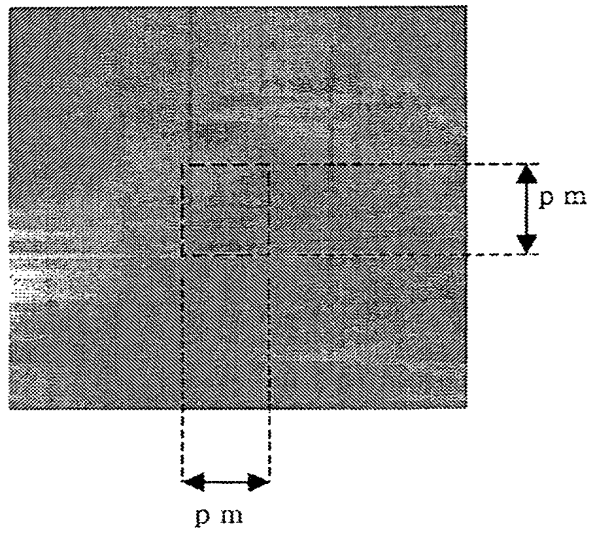
(a)



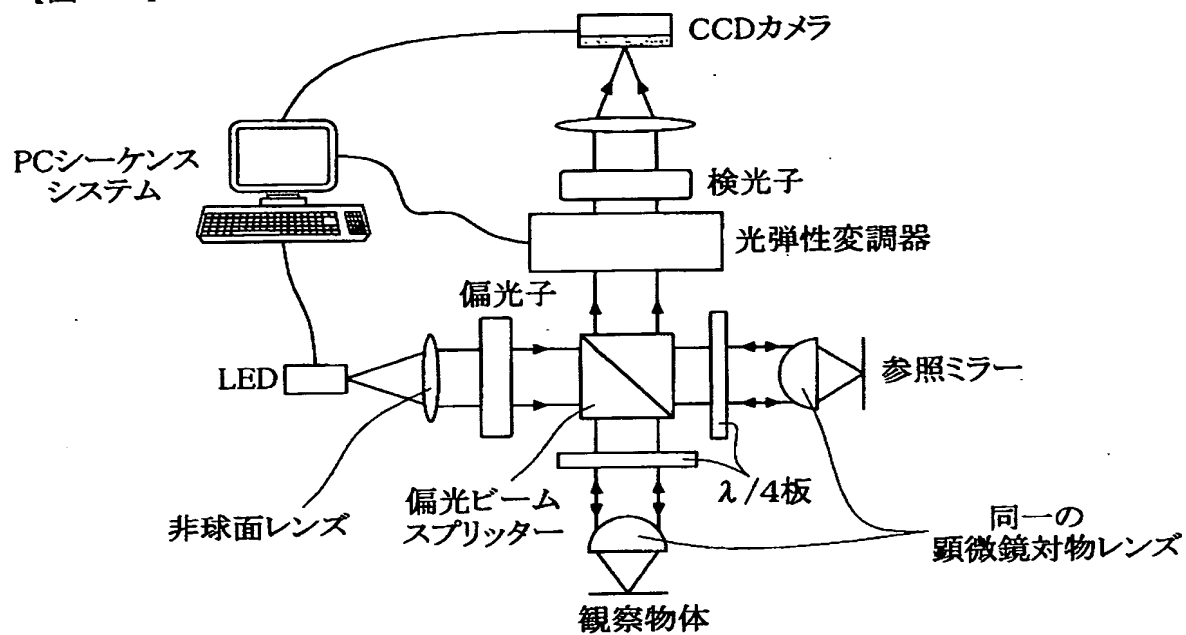
(b)



【図 9】
図面代用写真



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 干渉光学系や微分干渉光学系を使って、観察物体の位相を正確に測定するための検出方法及び検出装置を提供する。

【解決手段】 微分干渉光学系では、リタデーション量が等しく符号の異なる観察物体の画像情報を2つ取得し、該画像から差画像情報 $D(x, y)$ 及び和画像情報 $S(x, y)$ を取得する。一方、干渉光学系では、縞走査方法等により位相分布を画像化した画像情報 $H(x, y)$ 及び、強度分布を画像化した情報 $J(x, y)$ を取得する。

そして、和画像情報 $S(x, y)$ や強度分布情報 $J(x, y)$ に対して平均化、極大値の包絡値算出、低周波成分抽出などの加工を施した後、加工した画像情報、微分干渉光学系の光学的応答特性、及び差画像情報 $D(x, y)$ や位相分布情報 $H(x, y)$ を使って、観察物体の正確な位相情報を算出する。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第304467号
受付番号	29917900006
書類名	特許願
担当官	伊藤 雅美 2132
作成日	平成11年11月16日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000000376
【住所又は居所】	東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
【氏名又は名称】	オリンパス光学工業株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】	100065824
【住所又は居所】	東京都港区新橋5-8-3 代市ビル3階 篠原 特許事務所
【氏名又は名称】	篠原 泰司

【選任した代理人】

【識別番号】	100104983
【住所又は居所】	東京都港区新橋5-8-3 代市ビル 篠原特許 事務所
【氏名又は名称】	藤中 雅之

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000376]

1. 変更年月日 1990年 8月20日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
氏 名 オリンパス光学工業株式会社